




Flexible leading edge profile for aerofoil

Patent number: DE19712034
Publication date: 1998-09-24
Inventor: BREITBACH ELMAR J PROF DR ING (DE); BEIN THILO (DE)
Applicant: DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT (DE)
Classification:
- **International:** B64C27/00; B64C27/467; B64C27/615; B64C27/00; B64C27/32; (IPC1-7): B64C27/473
- **European:** B64C27/00B; B64C27/467; B64C27/615
Application number: DE19971012034 19970321
Priority number(s): DE19971012034 19970321

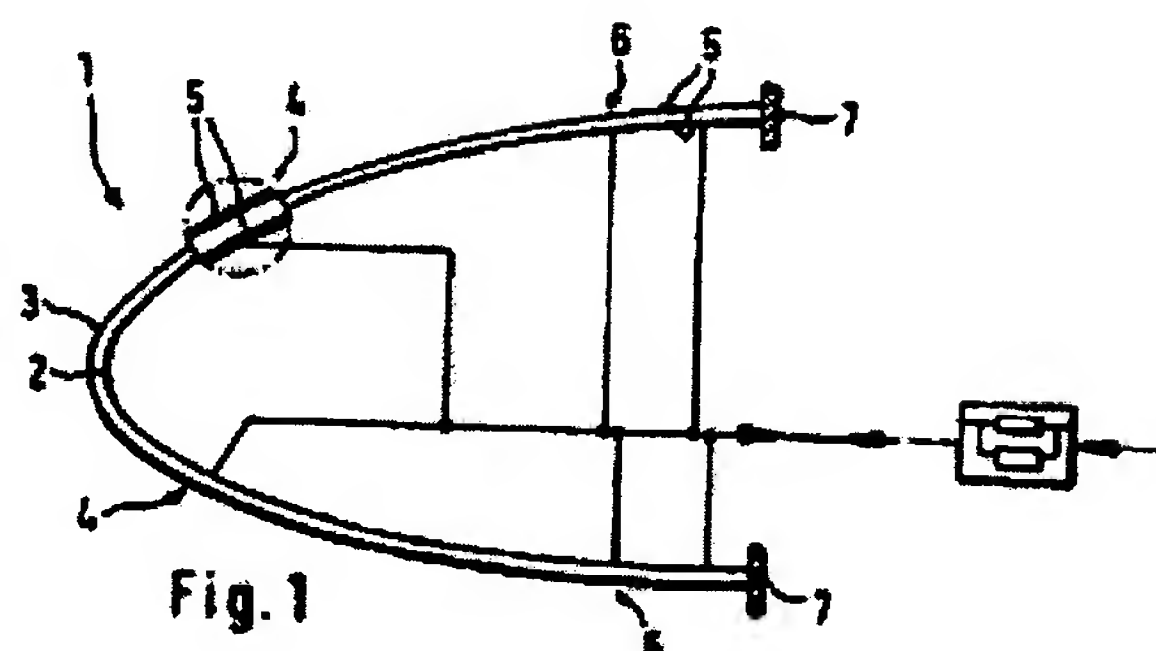
Also published as:

 US6076776 (A1)
 GB2327927 (A)
 FR2761047 (A1)

[Report a data error here](#)

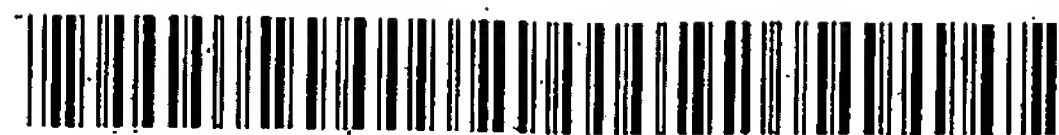
Abstract of DE19712034

The flexible leading edge (1) comprises a multifunctional material on its outside (3) or inside (2) of the skin, or in its structure (11). A coating (5) of multifunctional material is distributed partially on the profile edge. The multifunctional material is preferably an active layer (10), e.g. of piezoelectric, magnetoresistive material. This material is integrated into the structure of the flexible leading edge.



Data supplied from the [esp@cenet](#) database - Worldwide

zu P 611 078



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**
①⑩ **DE 197 12 034 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
B 64 C 27/473

D1

②① Aktenzeichen: 197 12 034.2
②② Anmeldetag: 21. 3. 97
④③ Offenlegungstag: 24. 9. 98

DE 197 12 034 A 1

⑦① Anmelder:
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
53175 Bonn, DE

⑦④ Vertreter:
Einsel, M., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 38102
Braunschweig

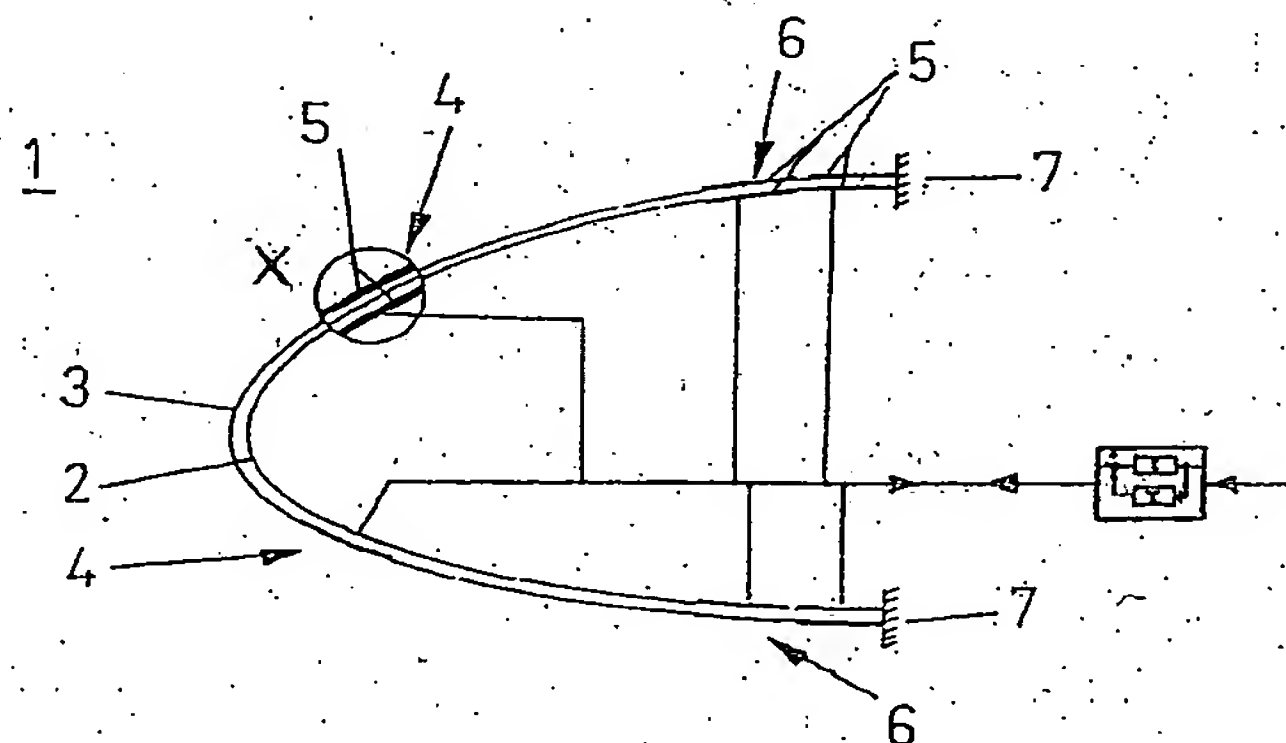
⑦② Erfinder:
Breitbach, Elmar J., Prof. Dr.-Ing., 37075 Göttingen,
DE; Bein, Thilo, 38108 Braunschweig, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 40 33 091 C1
US 49 22 096
DE-Z.: Soldat und Technik, H. 2/97, S. 102;
DE-Z.: WT 1/97, S. 26-27;
DE-Z.: Industrieanzeiger, H. 48-49/95, S. 38-40;
DE-Z.: Industrieanzeiger, H. 25/95, S. 26-29;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤④ Profilkante eines aerodynamischen Profils
⑤⑦ Bei einer Profilkante eines aerodynamischen Profils weist die Profilkante (1, 20) auf ihrer Außen (3, 23) - und/oder Innenseite (2, 22) oder in ihrer Struktur (11) multifunktionales Material auf.



DE 197 12 034 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Profilkante eines aerodynamischen Profils.

Aerodynamische Profile sind beispielsweise Hubschrauber-Rotorblätter. Die Hubschrauber-Rotorblätter erfahren im Vorwärtsflug grundsätzlich instationäre Strömungsverhältnisse. Im Schnellflug können diese sehr komplex sein. Am vorlaufenden Rotorblatt entstehen dabei ausgeprägte Verdichtungsstöße. Am rücklaufenden Rotorblatt treten demgegenüber instationäre Wirbelablösungen bei Hochauftrieb auf. Das letztere Phänomen wird mit dem Begriff "Dynamic Stall" bezeichnet.

Bei einem Hubschrauber-Rotorblatt verändert sich beispielsweise der Anstellwinkel des Profils dynamisch mit der Rotordrehfrequenz. Dies bedeutet, daß für jeden Azimutwinkel des Rotorblattes bezüglich der Hubschrauberlängsachse ein anderer Anstellwinkel gilt. Im allgemeinen ergeben sich beim dynamischen Ansteigen des Anstellwinkels andere aerodynamische Beiwerte als im Bereich der dynamischen Anstellwinkel-Verminderung. Dies führt zu einer aerodynamischen Hysterese. Aufgrund der beschleunigten Profilbewegung des Hubschrauber-Rotorblattprofils ergibt sich gegenüber dem statischen Fall ein Auftriebsgewinn, der sich nützlich verwerten läßt. Im Bereich hoher Anstellwinkel bricht der Auftrieb jedoch sehr stark und schnell ein, wodurch ein starker Anstieg von Widerstand und Moment um die Drehachse erzeugt wird. Das Moment ist kopflastig und belastet das Rotorblatt impulsartig. Es kann dieses zu Schwingungen anregen.

Es ist bekannt, mit Hilfe der sogenannten "Droop Nose" den Anstieg des Widerstandes sowie das stark kopflastig wirkende Moment zu reduzieren. Die "Droop Nose" ist eine in der Form veränderbare Vorderkante der Rotorblätter. Ziel dieser veränderbaren Vorderkante ist eine gezielte, zyklische, mit der Rotordrehung laufende Zu- oder Aufwölbung des Profils des Rotorblattes zur Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften von diesem. Vor allem die Auswirkungen der instationären Ablösung der Strömung (Dynamic Stall) können mit der "Droop Nose" positiv beeinflusst werden.

Der Zusammenbruch des Auftriebes und der damit verbundene Effekt von beispielsweise Drag Rise (Widerstandsanstieg infolge transsonischer Strömung im Blattspitzenbereich - vorlaufendes Blatt, $\text{psi} \approx 90^\circ$), Flattern etc. können dadurch zu höheren Anstellwinkeln verschoben werden.

Bekannt sind im Flugzeugbereich Aktuatoren zum Verstellen von Teilen der Tragflügel. Solche Aktuatoren sind beispielsweise Elektromotoren, pneumatische oder hydraulische Antriebe.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine strukturelle Umsetzung der Wirkungen der "Droop Nose" bei einer Profilkante eines aerodynamischen Profils zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 definierte Erfindung gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen definiert. Dadurch kann eine den aeroelastischen Anforderungen entsprechende Verformung der Profilkante des aerodynamischen Profils erzeugt werden. Herkömmliche Aktuatoren, beispielsweise Elektromotoren oder pneumatische oder hydraulische Antriebe, sind von ihren Abmaßen her zu groß und zu schwer, um in eine Profilkante beispielsweise eines Hubschrauber-Rotorblattes integriert werden zu können. Das erfindungsgemäße Vorsehen von multifunktionalen Materialien erweist sich demgegenüber nicht nur von seinen Abmaßen und seinem Gewicht her als vorteilhaft, sondern auch aufgrund seiner Verwendbarkeit für hochdynamische Anwendungen. Die Leistungsdaten der

herkömmlichen bekannten Aktuatoren, wie Elektromotoren, pneumatische oder hydraulische Antriebe, erweisen sich oftmals als zu gering und daher ungeeignet für die Verwendung zur strukturellen Umsetzung der sogenannten "Droop Nose" an Rotorblättern.

Im Prinzip wird eine Profilkante eines aerodynamischen Profils geschaffen, bei der die Profilkante auf ihrer Außen- und/oder Innenseite oder in ihrer Struktur multifunktionales Material aufweist. Vorzugsweise ist eine Beschichtung aus multifunktionalem Material partiell verteilt an der Profilkante vorgesehen. Die Profilkante ist dabei vorteilhaft eine Vorderkante beispielsweise eines Rotorblattes. Das multifunktionale Material kann aber auch alternativ eine schwerkraftschicht sein, die in die Struktur des aerodynamischen Profils integriert ist. Durch das multifunktionale Material können Biegemomente und/oder Längs- oder Schubkräfte in die die Profilkante bildende Struktur eingeleitet werden. Dadurch kann eine Verformung der Struktur erzeugt werden. Eine Ansteuerung des multifunktionalen Materials kann gezielt und über den Umfang des aerodynamischen Profils veränderlich erfolgen. Diese Ansteuerung kann entweder gleich- oder gegenphasig erfolgen. Vorzugsweise sind auch Sensoren aus multifunktionalem Material und adaptive Regler vorgesehen. Dadurch kann die Ist-Verformung der Profilkante durch die Sensoren erfaßt und in dem adaptiven Regler mit vorgegebenen Sollwerten verglichen werden. Eine Regelabweichung des Istwertes von dem Sollwert kann von dem adaptiven Regler durch entsprechendes Ansprechen des multifunktionalen Materials als Aktuator eingeregelt werden. Besonders bevorzugt dient das als Aktuator vorgesehene multifunktionale Material zugleich als Sensor für die Profilkantenverformung.

Besonders bevorzugt wird die Profilkante mit einer über den Umfang veränderlichen Wandstärke ausgebildet. Diese über den Umfang veränderliche Steifigkeit der Struktur des aerodynamischen Profils gestattet dann eine zusätzliche passive Beeinflussung der sich einstellenden Profilkantenverformung.

Als multifunktionales Material wird bevorzugt ein für hochfrequente Anwendungen geeigneter Werkstoff verwendet. Besonders bevorzugt wird hierzu eine Piezokeramik, ein elektro- oder ein magnetostriktiver Werkstoff verwendet. Die Profilkante besteht vorzugsweise aus Faserverbundwerkstoff, insbesondere aus kohlenstofffaserverstärktem Verbundwerkstoff (CFK) oder graphitfaserverstärktem Verbundwerkstoff (GFK). Sie kann aber auch aus Metall bestehen. Die aus multifunktionalem Material bestehenden aktiven Schichten sind vorzugsweise auf die Profilkante aufgebracht, aufgeklebt oder mittels Plasmaverfahren aufgebracht. Sie können aber auch durch alternative Verfahren aufgebracht oder bevorzugt in die äußersten Schichten einlaminiert werden. Im letzteren Fall kann über die einlamierte Schicht eine dünne Glasfaserschicht als Schutzschicht, beispielsweise in einer Schichtdicke von $10 \mu\text{m}$, aufgebracht werden. Wird das multifunktionale Material als schwerkraftschicht vorgesehen, wird es in die Struktur der Profilkante des aerodynamischen Profils vorzugsweise eingebettet oder einlaminiert.

Die Profilkante kann entweder eine Vorder- oder eine Hinterkante sein. Sie ist beispielsweise Teil eines Hubschrauber-Rotorblattes, eines Windenergieanlageflügels, einer Turbinen- oder Verdichterschaukel oder einer Tragfläche eines Flugzeuges.

Wird die Profilkante als elastische Hinterkante eines aerodynamischen Profils vorgesehen, ist vorzugsweise eine spitz zulaufende Hinterkante vorgesehen. Es kann damit vorzugsweise eine variable Wölbung von aerodynamischen Profilen erzeugt werden.

Die Ansteuerung durch-Piezokeramik, die eine aus piezoelektrischem Material hergestellte Keramik ist und die bezüglich ihrer Eigenschaften infolge ihrer polykristallinen Struktur weitgehend isotrop ist, beruht auf dem Phänomen, daß durch Verformungen, wie Druck- oder Zugbeanspruchung sich einige Kristalle polarisieren lassen. Auf entgegengesetzten Oberflächen entstehen dann Flächenladungen unterschiedlichen Vorzeichens. Die elektrostatische Aufladung, die beim Zusammendrücken von Kristallen in Richtung der polaren Achsen auftritt, ist der Größe der einwirkenden Kraft proportional und Ausdruck einer Polarisation des Kristalls unter Druckeinwirkung (oder Zugeinwirkung), also der Verschiebung positiver gegenüber negativer Ionen relativ zueinander entlang der polaren Achse. Die Ladung einander gegenüberliegender Kristallflächen haben dadurch entgegengesetzte Vorzeichen. Demgegenüber kann man umgekehrt auch bei derartigen piezoelektrisch. erregbaren Kristallen durch Anlegen eines elektrischen Feldes in Abhängigkeit von dessen Polarität oder Richtung Kompression und Dilatation, also auch eine Längenänderung herbeiführen.

In Fig. 4 ist eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Profilkante als elastische Hinterkante 20 dargestellt. Anstelle der Ansteuerung der Vorderkante gemäß der Fig. 1 bis 3 zum Schaffen einer gezielten, zyklisch mit der Rotordrehung ablaufenden Zu- oder Aufwölbung des Profils zur Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaf-

ten beispielsweise eines Rotorblattes, um vor allem die Auswirkungen der instationären Ablösung der Strömung (Dynamic Stall) dadurch positiv beeinflussen zu können, geschieht durch Vorsehen der elastischen Hinterkante 20 eine entsprechende strukturdynamische Umsetzung bei lediglich anderen Strömungsverhältnissen. Es wird eine variable Wölbung erzeugt, die Abflußbedingungen werden verändert.

Anstelle der parabelförmig zulaufenden Vorderkante 1 gemäß der Fig. 1 bis 3 ist in Fig. 4 eine spitz zulaufende Struktur 21 vorgesehen. Auf der Innenseite 22 und der Außenseite 23 dieser spitz zulaufenden Struktur 21 sind verteilt Schichten 25 aus multifunktionalem Material aufgefugt.

Die in ihrem hinteren Punkt fest gelagerte spitz zulaufende Struktur 21 der elastischen Hinterkante 20 ist in ihrem vorderen spitzen Bereich beweglich. Die möglichen Bewegungsrichtungen sind durch den Doppelpfeil in Fig. 4 angedeutet. Die Ansteuerung geschieht entsprechend der zu den vorigen Figuren beschriebenen Ansteuerung der Vorderkante 1. Es kann ebenfalls eine gleich- oder gegenphasige Ansteuerung der Aktuatoren in Form der Schichten 25 aus multifunktionalem Material geschehen.

Alternativ zu der dargestellten Ausführungsform kann auch eine in ihrem hinteren Punkt geöffnete, geschlitzte elastische Hinterkante vorgesehen sein.

Durch Ansteuern der Aktuatoren und daraus folgende Verformung kann eine variable Wölbung von Profilen erzeugt werden.

Die Verwendungsmöglichkeiten der beschriebenen adaptiven Vorder- und Hinterkanten sind zahlreich. Beispielsweise können derartige adaptiv geregelte, also sich durch entsprechendes Einstellen eines Anstellwinkels anpassende Profilkanten in Hubschrauber-Rotorblättern verwendet werden. Sie eignen sich aber auch besonders für Windenergieanlagen, Turbinen- oder Verdichterschäufeln oder zur Verwendung an Tragflächen von Flugzeugen, insbesondere von Kampfflugzeugen. Verwendungsgebiete ergeben sich überall, wo die Auswirkungen von instationärer Ablösung der Strömung durch eine gezielte, zyklisch mit der Rotordrehung ablaufende Zu- oder Aufwölbung des Profils zur Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften des Rotorblattes positiv beeinflusst werden soll.

Bezugszeichenliste

1 Vorderkante	45
2 Innenseite	
3 Außenseite	
4 Bereich mit multifunktionalem Material	
5 Schicht aus multifunktionalem Material/Beschichtung	
6 Bereich	50
7 Auflagerstelle/statisch festgelegte Stelle	
8 Unterseite	
9 Oberseite	
10 scheraktive Schicht	
11 Struktur	55
20 elastische Hinterkante	
21 spitz zulaufende Struktur/Vorderkante	
22 Innenseite	
23 Außenseite	
25 Schicht aus multifunktionalem Material	60
27 Auflagerstelle/statisch festgelegte Stelle	
A Auslenkposition	
B Auslenkposition	

Patentansprüche

1. Profilkante eines aerodynamischen Profils, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante (1, 20) auf

ihrer Außen- (3, 23) und/oder Innenseite (2, 22) oder in ihrer Struktur (11) multifunktionales Material aufweist.

2. Profilkante nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Beschichtung (5, 25) aus multifunktionalem Material partiell verteilt an der Profilkante (1, 20) vorgesehen ist.

3. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das multifunktionale Material eine scheraktive Schicht (10) ist, die in die Struktur (11) des aerodynamischen Profils integriert ist.

4. Profilkante nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Schichten (5, 25, 10) aus multifunktionalem Material als aktive Schichten Biegemomente und/oder Längs- oder Schubkräfte in die die Profilkante (1, 20) bildende Struktur (11) einleitbar sind, die eine Verformung der Struktur erzeugen.

5. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten (5, 25, 10) aus multifunktionalem Material gezielt, über den Umfang des aerodynamischen Profils veränderlich ansteuerbar sind.

6. Profilkante nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten (5, 25, 10) aus multifunktionalem Material gleich- oder gegenphasig ansteuerbar sind.

7. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante (1, 20) mit einer über den Umfang veränderlichen Wandstärke ausgebildet ist.

8. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Sensoren aus multifunktionalem Material und adaptive Regler vorgesehen sind.

9. Profilkante nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die als Aktuator vorgesehenen Schichten (5, 25, 10) der Profilkante (1, 20) aus multifunktionalem Material als Sensoren der Profilkantenverformung dienen.

10. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das multifunktionale Material ein für hochfrequente Anwendungen geeigneter Werkstoff, insbesondere eine Piezokeramik, ein elektro- oder magnetostriktiver Werkstoff ist.

11. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante (1, 20) aus Faserverbundwerkstoff, insbesondere kohlenstoff- oder graphitverstärktem Verbundwerkstoff (CFK oder GFK), oder aus Metall besteht.

12. Profilkante nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (5, 25) aus multifunktionalem Material auf die Profilkante (1, 20) auflaminiert, geklebt oder mittels Plasma-Verfahrens aufgebracht oder in die äußeren Schichten der Profilkante einlaminiert ist.

13. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante eine Vorder- (1) oder Hinterkante (20) des aerodynamischen Profils ist.

14. Profilkante nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei Vorsehen der Profilkante als elastische Hinterkante (20) eine spitz zulaufende Vorderkante (21) vorgesehen ist, durch die insbesondere eine variable Wölbung von Profilen erzeugbar ist.

15. Profilkante nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilkante (1, 20) Teil eines Hubschrauber-Rotorblattes, eines Windenergieanlagenflügels, einer Turbinen- oder Verdicht-

terschaufel oder einer Tragfläche eines Flugzeuges ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

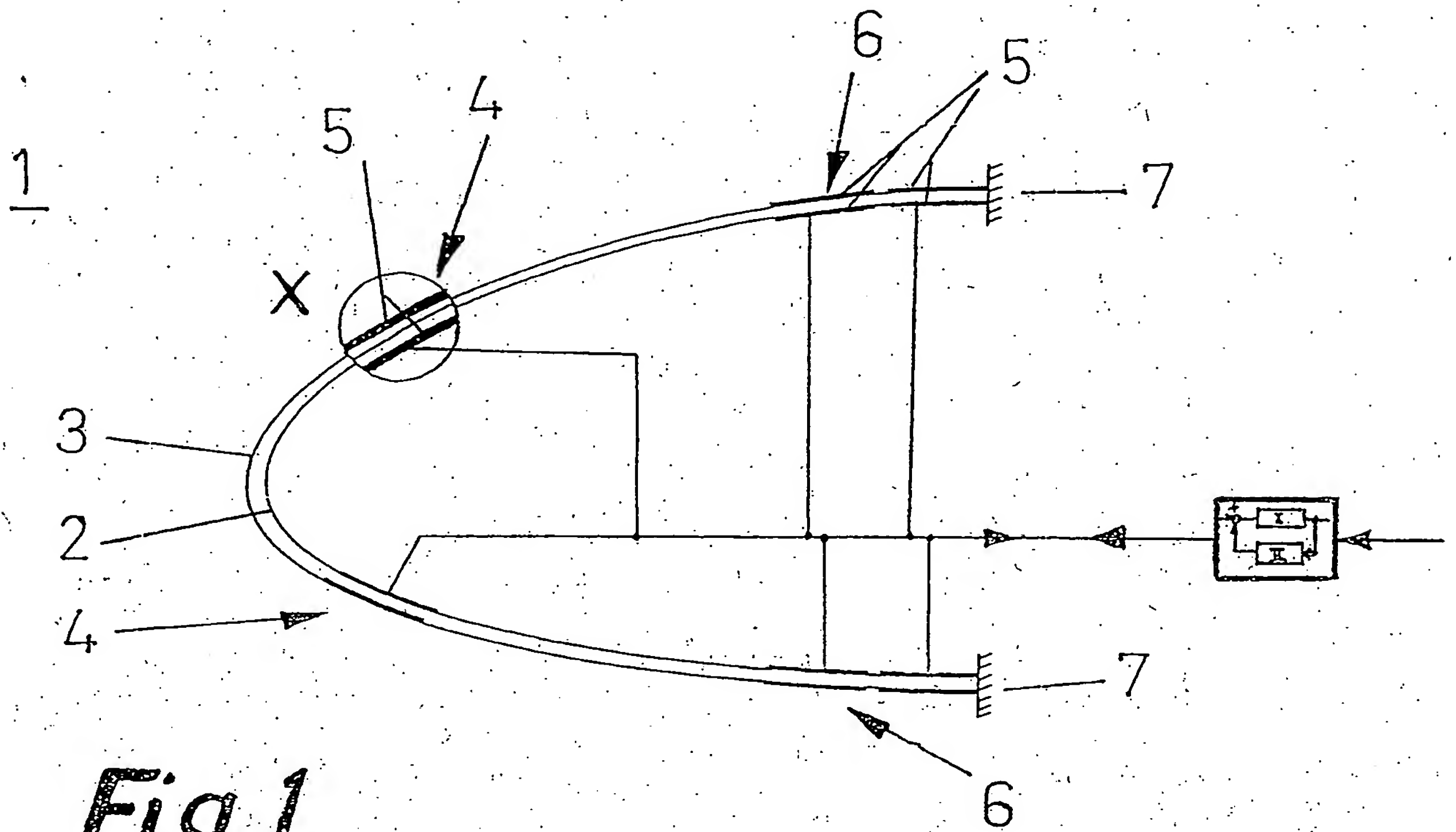


Fig. 1

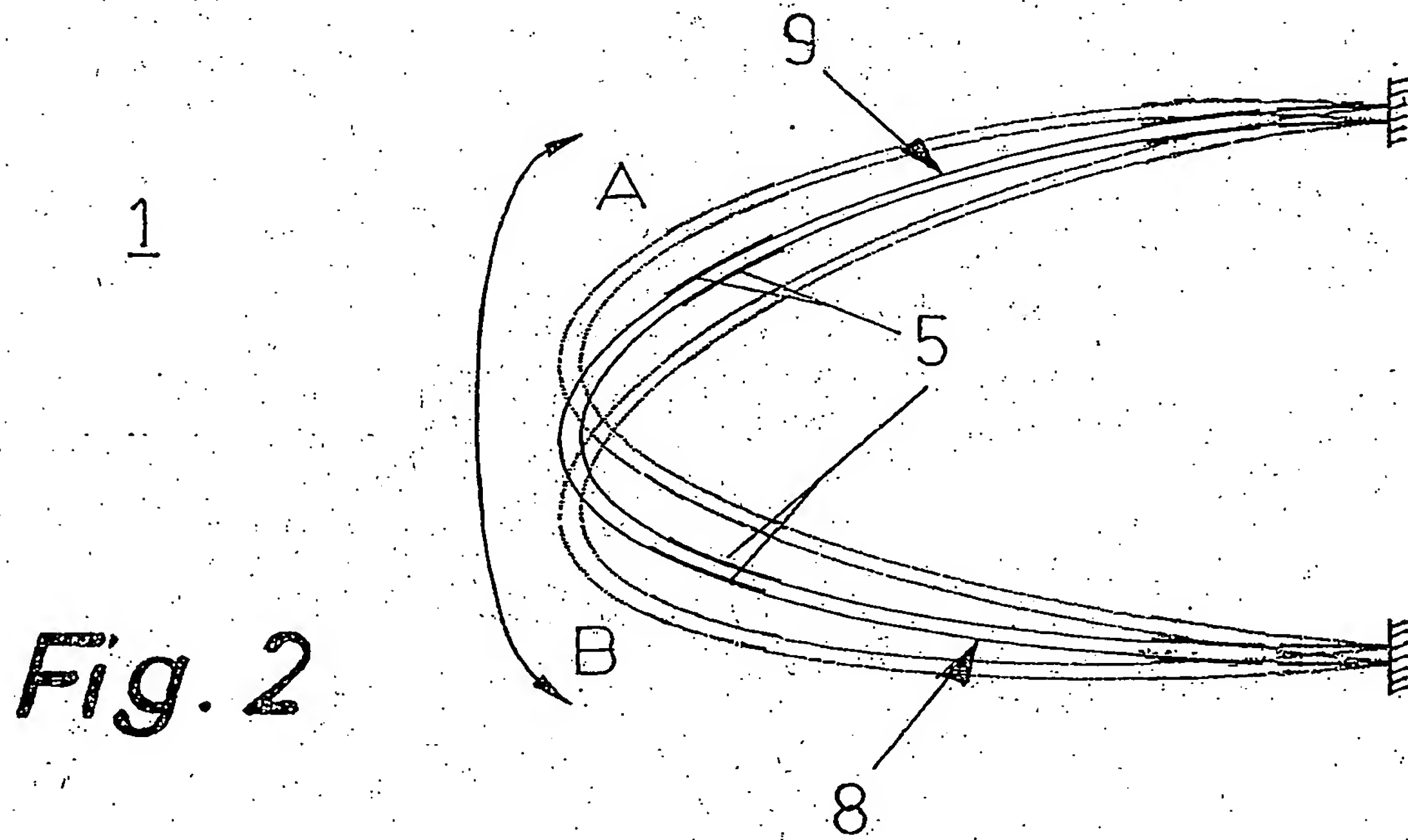


Fig. 2

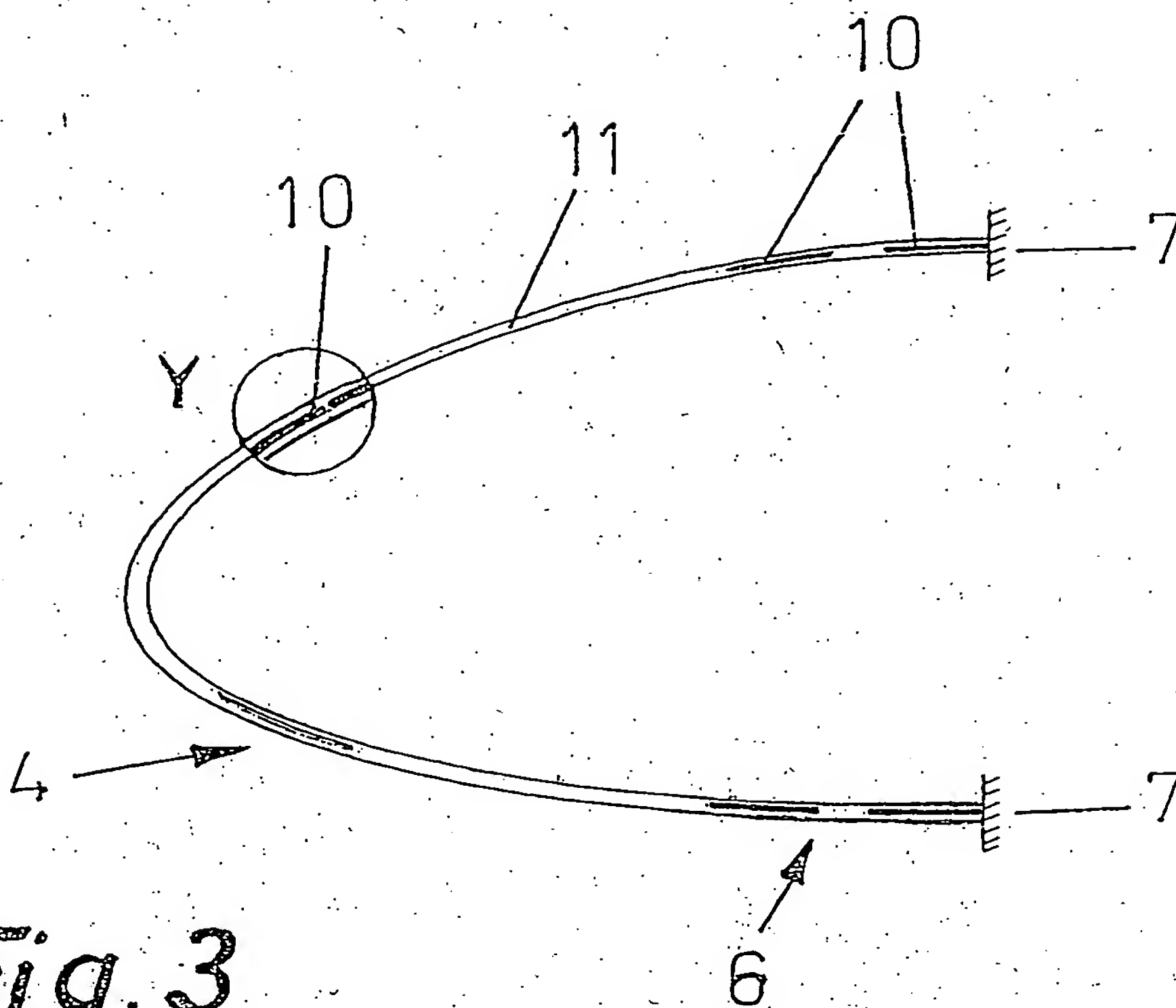


Fig. 3

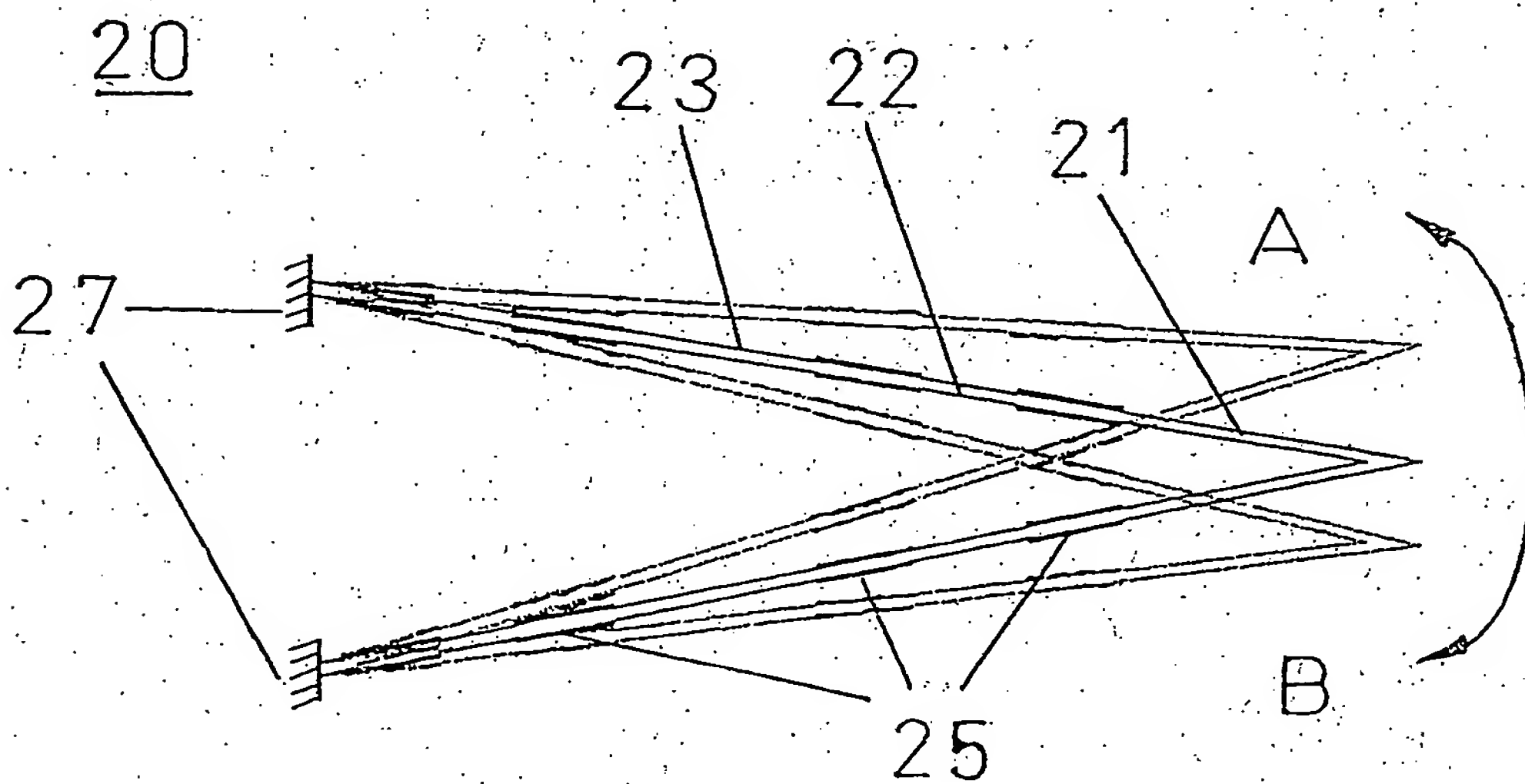


Fig. 4